

複雑な構造を有する都市域での氾濫解析

九州工業大学工学部 正会員 ○重枝 未玲, 秋山 壽一郎

1. はじめに

都市域を含む氾濫原では、構造物、地形起伏、道路網などの市街地構成要素が氾濫流の挙動に大きな影響を及ぼす。そのため、氾濫解析モデルには、市街地構成要素が流れに及ぼす影響を適切に評価できることが求められる。本研究は、複雑な構造を有する市街地での氾濫流の実験データに基づき、家屋群、樹林帯や水没・非水没状態が混在する地形起伏などの市街地構成要素の取り扱い方法を包括した、都市域氾濫解析モデル(以下氾濫解析モデルと呼ぶ)の予測精度について総合的に検証したものである。

2. 実験の概要

氾濫流は水の無いドライベッド上あるいはそれに近い状態の氾濫原を広がる非正常性の強い自由表面流である。しかし、複雑な構造を有する市街地では氾濫流が物体群中を流れるために、その可視化が難しく氾濫流の水深や流速ベクトルを正確に計測することは極めて難しい。そこで、ここでは定常流の実験を行った。

実験装置は、図-1に示すような貯水槽部(幅2.98m, 長さ0.85m), 越流・整流部(幅2.4m, 長さ1.14m)および氾濫部(幅2.4m, 長さ2.85m)より構成される洪水氾濫水槽である。市街地を構成する要素として、道路網、公園や駐車場等のオープンスペース、構造物、路上設置物、樹林帯、水没/非水没状態となる地形起伏を考慮し、構造物としての角柱または路上設置物としての円柱群、樹林帯としての円柱群および地形起伏としての物体を氾濫部に配置した。角柱群, 円柱群および地形起伏を表す物体の配置と諸元はそれぞれ図-2に示す通りである。水路上流端から一定流量 $Q=0.0155\text{m}^3/\text{s}$ の水を流入させ、図-3中に示した測定位置で水深と流速を、図-3中の黒で塗りつぶした物体に働く流体力を測定した。水深 h の測定はポイントゲージで行った。 x および y 方向の流速 u_x および u_y の測定は、電磁流速計で測定し、その結果から水深方向の流速分布を求め、これを積分することで単位幅流量を求めた。これを水深で除して、 x および y 方向の水深平均流速 u, v を算定した。物体に働く流体力の測定は、物体に2分力計を取り付けることで測定した。なお、流速および物体に働く流体力測定のスAMPLING時間とスAMPLING間隔は、それぞれ30秒と0.05秒および60秒と0.05秒である。

3. 数値シミュレーションの概要

計算メッシュのサイズと配置については、計算領域および物体の境界で分割数を与え、デローニ法を用いたメッシュジェネレータにより自動的に決定した。その結果、7441個のメッシュで計算領域を分割した。Manningの粗度係数 n は底面がアクリル板であることを踏まえ、 $n=0.01$ とした。図-3中の影をつけた物体には、物体に沿って計算メッシュを配列する境界適合処理を、角柱群および樹林帯には、個々の物体に働く流体力を空間平均することで得られる流体力項を基礎方程式に付加する空間平均処理をそれぞれ適用した。物体集中度 a については、角柱群($a=12.5$)および円柱群($a=0.09$)の配置から決定した。角柱群の抵抗係数 C_d については、まず、角柱群の代替として迎角を考慮しなくて良い円柱群を用い試算を行い、配置範囲での主流方向は街路に沿った方向であることを確認した後、この主流方向をもって角柱の迎角 $\alpha=0^\circ$ を定め、参考文献1)の表-3から C_d 値(=2.12)を決定した。円柱群の抵抗係数 C_d については、参考文献2)の図-14から C_d 値(=1.2)を決定した。地形起伏を模した物体には、地盤高の高低差を考慮に入れたドライベッド条件を適用した。境界条件としては、上流端には一定単位幅流量($q=6.5 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{s})$)、下流端には実験より求めた水深($h=0.0163$

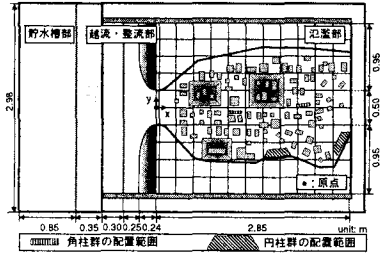
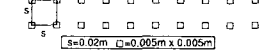
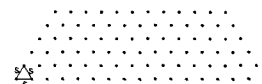


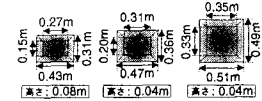
図-1 モデル市街地の実験装置



(a) 角柱群



(b) 円柱群



(c) 地形起伏を表す物体

図-2 モデル市街地の構成要素の諸元

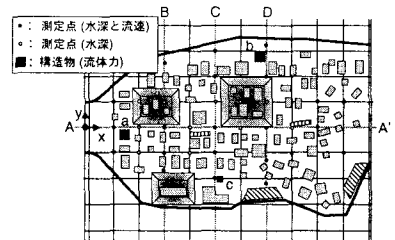


図-3 測定点と流体力測定を行った物体

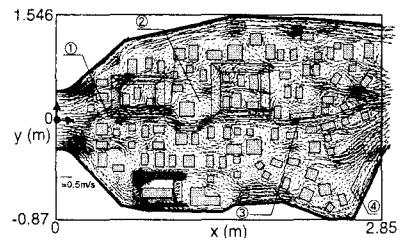


図-4 氾濫流の流速ベクトル

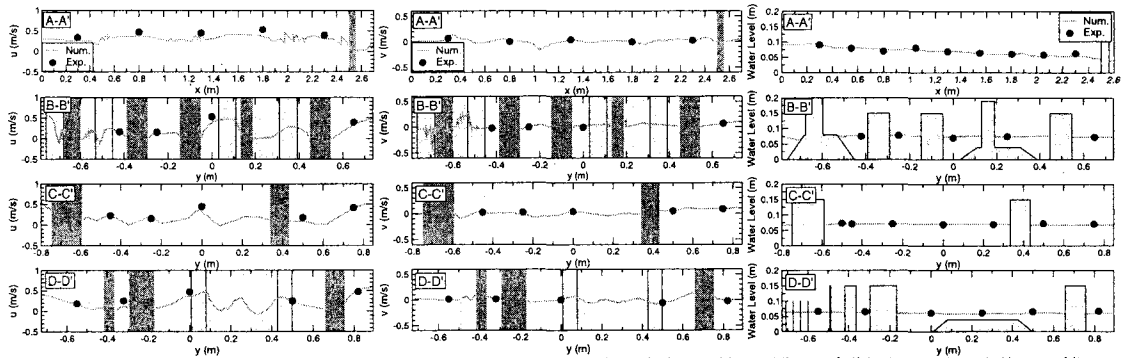


図-5 各断面における x 方向流速の比較 図-6 各断面における y 方向流速の比較 図-7 各断面における水位の比較

～0.0364m), 壁面には閉境界条件をそれぞれ与えた. 初期条件としては, 流速 $u=v=0$ と全ての地形起伏が水没状態となるような水位を与えた. 各時間の計算結果の比較から定常状態と判断した時点で計算を終了した.

4. 数値モデルの検証

図-4 は流速ベクトルの計算結果, 図-5 と図-6 は, それぞれ図-3 に示す A-A' から D-D' 断面における流速ベクトルの実験値と計算結果の比較を行ったものである. 図-5 および図-6 中の薄く影をつけた部分は水没物体, 濃く影をつけた部分は非水没物体を表している.

図-4 から, 流出部付近の氾濫流が, 街路幅の広い側壁付近の街路および $x=0$ 軸を通る街路に集中して流れる様子が確認できる (図-4 ①). さらに, 氾濫流の主流方向が物体により大きく変化し, 物体背後にオープンスペースがある場合には渦が発生するなど, 非常に複雑な流況が生じることもわかる (図-4 ②). また, $x=0$ 軸を通る街路沿いに路上設置物として配置した角柱群や壁面付近に設置した樹林帯により, 流れが減勢される様子も確認できる (図-4 ③, ④). このように, 市街地での氾濫流の流速と流向は, 市街地構造により大きく変化し非常に複雑であるため, 図-5 と図-6 に示すように, いずれの断面においても x および y 方向の水深方向平均流速の変動は急激で大きい. 例えば, 物体が最も多く設置されている B-B' 断面では, x 方向流速 u が物体間で加速される様子 (図-5 B-B' $y=0$ 付近) や, 非水没となる地形起伏と物体の影響により, y 方向流速 v が正負の方向に 2 分される様子 (図-5 B-B' $y=-0.6$ 付近) が確認できる. C-C' 断面の街路沿い ($y=0$ m) では, その上流側の角柱および角柱群の影響により, 流れが街路に集中するため加速され, $y=0$ m 付近での x 方向流速 u が大きい. また, D-D' 断面の地形起伏上 ($y=0\sim 0.5$ m) では, その上流側にある物体間で流れが加速され, $y=0.25$ m 付近の x 方向の流速が大きくなる様子等が確認できる. これら構造物が多く存在する断面に比べ, A-A' 断面は街路に沿っているため, 流速変動は小さい. 計算結果はいずれの断面においても実験値をおおむね再現している.

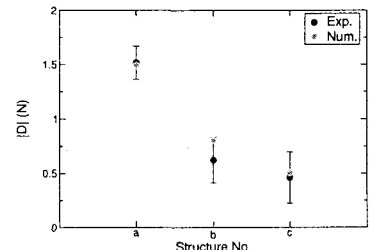


図-8 物体に働く流体力の比較

図-7 は図-3 に示す A-A' から D-D' 断面における底面を基準面とした水位の実験値と計算結果の比較を行ったものである. これより, 水位は上流から下流へと小さくなり, 横断方向については水面形状がほぼ一定であること, などがわかる. 計算結果は実験値をほぼ再現していることも確認できる.

図-8 は, 図-3 中の黒で塗りつぶした物体 a～c に働く流体力の計算結果と実験値との比較を行ったものである. 図中のエラーバーは測定結果の標準偏差を表している. この図から, 物体 a, c では, 計算結果は実験値を良好に再現していることがわかる. しかし, 物体 b では計算結果と実験値との間に標準偏差程度のずれが生じている. これは, 物体 b の位置では, 上流側の物体により生じた剥離した流れが衝突し, そのような流れは浅水流方程式では再現できないためと考えられる.

5. おわりに

本研究では, 物体群および水没/非水没状態の地形起伏などの氾濫原構成要素が混在する極めて複雑なモデル市街地での氾濫流の実験結果に基づき, 本氾濫解析モデルの総合的な検証を行った. その結果, 本氾濫解析モデルが, 複雑な市街地構造を有する場での氾濫流だけでなく, 構造物に働く流体力までも十分な精度で再現できることを明らかにした.

参考文献

- 1) 秋山壽一郎, 重枝未玲, 小林俊彦, 大田和正: 水工学論文集, 第 46 巻, 2002.
- 2) 林健二郎, 藤井優宏, 重村利幸: 水工学論文集, 第 45 巻, 2001.